

Implementación del software DivYX en el laboratorio de Mecánica



Leonor Pérez-Trejo¹, Arturo F. Méndez Sánchez¹, Héctor A. González Flores²

¹Departamento de Física, Escuela Superior de Física y Matemáticas, Instituto Politécnico Nacional, Edif. 9 U. P. "Adolfo López Mateos" C. P. 073380, México D. F.

² Depto. de Física y Matemáticas de la Universidad de Monterrey, Av. Morones Prieto 4500 Pte., C.P. 66238, San Pedro Garza García. Nuevo León, México.

E-mail: leopt@esfm.ipn.mx; aptypo@hotmail.com; hgonzalez@udem.edu.mx

(Recibido el 3 de Septiembre de 2008; aceptado el 19 de Septiembre de 2008)

Resumen

En este trabajo se presenta una alternativa didáctica para el análisis de movimiento en una y dos dimensiones, como son movimiento con aceleración constante y tiro parabólico, a partir de la realización de experimentos sencillos y el uso del software DivYX[®]. Los experimentos propuestos fueron diseñados de tal manera que no requieren de equipo costoso ni involucran mucho tiempo en su desarrollo. Esto permite dedicar mayor tiempo al análisis e interpretación física de los resultados en una sola sesión. Asimismo, se muestran las ventajas de los dispositivos sugeridos en este trabajo y el uso de DivYX sobre los que usualmente se utilizan en un laboratorio de enseñanza.

Palabras clave: Prácticas de laboratorio, DivYX, movimiento con aceleración constante, tiro parabólico.

Abstract

A didactic alternative for analyzing movements in one and two dimensions like constant accelerated movement and parabolic movement is presented in this work. The purpose include simple experiments and the use of DivYX software. The experiments were designed in such a way they do not need expensive equipment and can be performed in a short time even in a classroom. The DivYX software implementation allows to spend more time in the analysis and interpretation of experimental data in a single session. Finally, the advantages of DivYX and the simple experiments proposed respect to those usually employed are shown.

Keywords: laboratory practices, DivYX, constant accelerated movement, parabolic movement.

PACS: 01.50.Lc, 01.50.Pa, 01.50.Ht, 07.05.Fb.

ISSN 1870-9095

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los objetivos de los cursos introductorios de laboratorio es el aprender a analizar los datos obtenidos de un experimento. Sin embargo, este objetivo a veces se ve opacado o se pierde, debido a que la instalación del arreglo experimental y el desarrollo del mismo experimento son complejos e involucran mucho tiempo lo cual implica que al final de la clase el alumno sólo obtiene una lista de datos experimentales y tiene que trabajar por su cuenta en el análisis de éstos. Además, en muchas ocasiones al graficar los datos experimentales, las curvas obtenidas no concuerdan con lo que se debería de obtener teóricamente, lo cual confunde al alumno al momento del análisis y de la interpretación física de ciertas constantes sin la orientación del profesor.

Por otro lado, el alto costo para instrumentar algunos experimentos de física, como en los casos de el Movimiento Rectilíneo Uniforme y Acelerado, hace casi imposible que se puedan realizar mediciones clásicas de

velocidad y movimiento en escuelas donde no se tiene la infraestructura necesaria, por lo que los alumnos se ven obligados a conformarse tan solo con la parte teórica, siendo la física una ciencia basada en la observación, experimentación y medición, es necesario que los estudiantes tengan experiencias significativas en el desarrollo de actividades experimentales.

El presente trabajo surge como una alternativa para realizar experimentos de bajo costo de implementación del dispositivo experimental y de tiempos cortos de realización. La propuesta consiste básicamente en grabar con una videocámara un experimento simple en una o dos dimensiones y después obtener los datos experimentales con ayuda de una PC y utilizando el software DivYX [1] diseñado para tal motivo. La videocámara puede sustituirse por una cámara digital o un teléfono celular, éste último es de uso común entre los estudiantes.

Los experimentos que se presentan corresponden a los cursos de laboratorio de mecánica en los primeros semestres de la licenciatura en física e ingenierías en los que se estudia el movimiento de una partícula en una y dos

III. DESARROLLO EXPERIMENTAL

dimensiones. Se muestran tres experimentos para el movimiento uniformemente acelerado y uno para tiro parabólico. En el desarrollo experimental se describe la manera en que se llevan a cabo estos experimentos de forma habitual en el laboratorio de Física correspondiente al primer semestre de la carrera Licenciatura en Física y Matemáticas que se imparte en la Escuela Superior de Física y Matemáticas (ESFM) del IPN, seguido de la descripción de los experimentos sugeridos y los detalles para la realización de los mismos utilizando una cámara de video y el posterior análisis con el software DivYX.

II. TEORIA

Para describir el movimiento de una partícula basta con especificar su posición, velocidad y aceleración. En un movimiento unidimensional y acelerado, la ecuación para la posición de la partícula como función del tiempo está dada por [2]:

$$x(t) = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2, \quad (1)$$

en donde x_0 y v_0 son la posición y la velocidad al tiempo inicial, respectivamente y a es la aceleración de la partícula.

En particular para caída libre, la ecuación (1) se reduce a la siguiente ecuación:

$$y(t) = \frac{1}{2} g t^2, \quad (2)$$

en donde el cambio a $y(t)$ es debido a que el movimiento es en la dirección vertical y g es la aceleración debida a la gravedad.

En el caso de movimiento bidimensional, el ejemplo más usual es el movimiento de un proyectil, las ecuaciones que describen este movimiento son detalladas en diversos textos [2, 3, 4]. La manera más simple de analizar este movimiento es descomponerlo en un movimiento rectilíneo uniforme y un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado. Las ecuaciones que describen el movimiento de un proyectil son:

$$x(t) = v_o \cos \theta, \quad (3)$$

$$y(t) = v_o \sin \theta - \frac{1}{2} g t^2, \quad (4)$$

$$y(x) = x \tan \theta - \frac{g}{2v_o^2 \cos^2 \theta} x^2, \quad (5)$$

$$v_o = \sqrt{(v_{0x})^2 + (v_{0y})^2}. \quad (6)$$

Donde: x , y y representan la posición al tiempo t , θ es el ángulo de disparo, v_{0x} y v_{0y} son las componentes horizontal y vertical de la velocidad inicial respectivamente y v_o es la magnitud de la velocidad inicial.

En las subsecciones A-C se da una descripción del desarrollo de los experimentos, tanto de los ya establecidos como de los propuestos para el uso del software DivYX. En todos los casos los experimentos alternativos tienen que ser filmados, en la sección D se tienen los detalles del procedimiento para la captura de los videos y del software DivYX.

A. Movimiento acelerado de un objeto sobre una superficie sin fricción.

En la figura 1, se presenta el diagrama del arreglo experimental que se utiliza generalmente para estudiar este movimiento. Consiste en un deslizador de masa m_1 que se mueve sobre un riel de aire sin fricción [5], tira de él una cuerda de masa despreciable atada a un bloque suspendido de masa m_2 que se encuentra bajo la acción de la gravedad g . Se está considerando que la fricción entre la cuerda y la polea es despreciable.

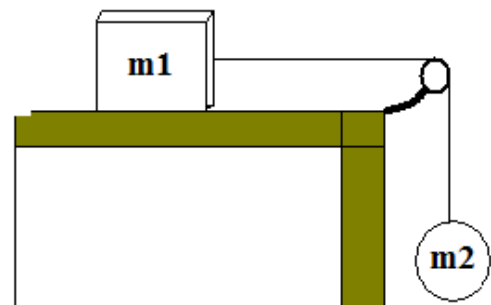


FIGURA 1. Dos masas unidas por una cuerda, una de ellas, m_1 desliza sin fricción sobre un riel de aire.

Del análisis de fuerzas involucradas [3], se llega a la siguiente expresión para la aceleración del sistema:

$$a = \frac{m_2}{m_1 + m_2} g. \quad (7)$$

En este experimento la masa de cada uno de los cuerpos es de $m_1 = 381 \text{ gr}$ (deslizador) y $m_2 = 50 \text{ gr}$ (cuerpo suspendido). Al tiempo en que el sistema se deja en movimiento, se activa un chispeador cuya frecuencia es de 60Hz, el arco del chispeador produce marcas sobre un papel impresor, lo que permite obtener información de posición y tiempo de la masa m_1 . Uno de los detalles en este procedimiento es la distancia a la que se libera el deslizador, ya que si no es la adecuada, la curva de tiempo-posición no describe una función de segundo orden. Por lo que se tienen que hacer varias pruebas antes de obtener los datos propicios. Uno de los objetivos de esta experimento es determinar la constante de la aceleración de la gravedad g , cuyo valor es igual a 9.78 m/s^2 en la Cd. de México [6].

Como alternativa de bajo costo al riel de aire y demás accesorios, se ideó un móvil de aire el cual consiste en un disco compacto (CD) y un globo. El CD y el globo están conectados por medio de un tapón de hule con perforaciones de 1mm de diámetro aproximadamente. Los

Leonor Pérez Trejo, Arturo F. Méndez, Héctor A. González
 orificios tienen la función de dosificar la salida del aire en el globo y así formar una capa de aire entre el móvil y el plano la cual reduce la fricción entre las superficies. La figura 2 muestra una imagen del arreglo experimental.

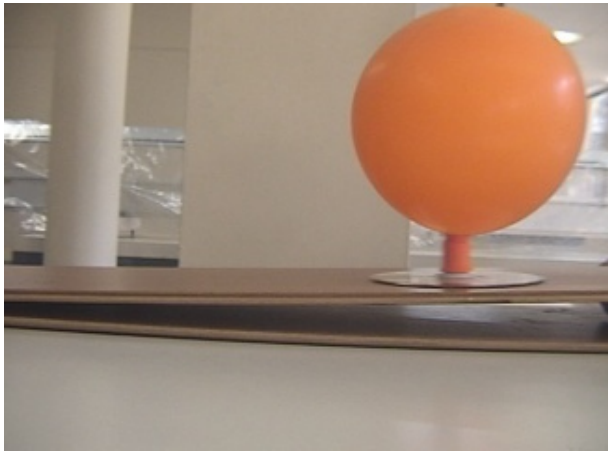


FIGURA 2. Disco compacto deslizando sobre un plano inclinado. El ángulo de inclinación es de 2.94° .

En la figura 3 se presenta un diagrama auxiliar para el análisis de las fuerzas involucradas en este movimiento. La expresión para la aceleración del sistema es [3]:

$$a = g \sin \theta, \quad (8)$$

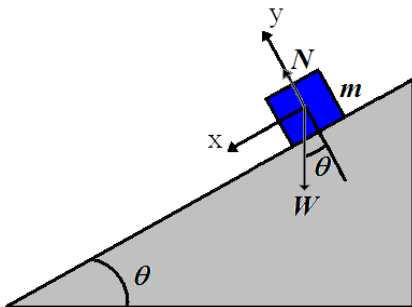


FIGURA 3. Diagrama de un objeto que se mueve sobre un plano inclinado. m es la masa del objeto, W es el peso, N es la normal a la superficie de contacto.

B. Caída Libre

El dispositivo para realizar este experimento consiste de un electroimán acoplado a un reloj electrónico y un interruptor [5], ver figura 4. Cuando se abre el circuito, se activa el reloj y el electroimán se desactiva dejando caer un balón. Cuando el balón atraviesa las fotoceldas el cronómetro digital se detiene e indica el tiempo que duró la caída del balón desde una altura dada. Posteriormente, se varía la distancia de la fotocelda y se deja caer el balón nuevamente, registrando el tiempo correspondiente.

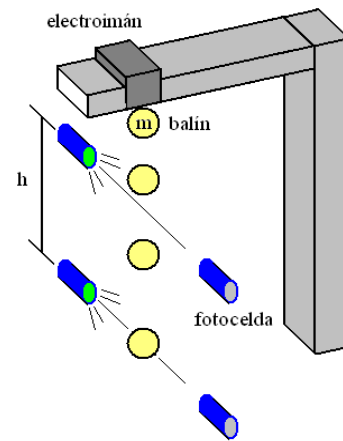


FIGURA 4. Diagrama para el experimento de caída libre.

En este caso, un experimento alternativo es dejar caer un objeto de dimensiones conocidas desde una altura fija. Nosotros utilizamos un objeto cúbico como el mostrado en la figura 5.



FIGURA 5. Experimento de caída libre, se observa un objeto de forma cúbica que se deja caer libremente.

C. Tiro parabólico

El movimiento en dos dimensiones se examina mediante el lanzamiento de un disco sobre una mesa de aire (ver figura 6) al cual se le toma una fotografía estroboscópica. Con este experimento es posible obtener la curva paramétrica de posición y se obtiene información a cerca del movimiento rectilíneo uniforme y del movimiento uniformemente acelerado en las direcciones horizontal y vertical, respectivamente.

Por otro lado, la realización de este experimento resulta un tanto compleja, ya que requiere de varios accesorios como son cama de aire, disparador, estrobo, espejo de gran tamaño, cámara fotográfica, cuarto de revelado, entre otros [5]. Es por todo ello que la realización de este experimento involucra tiempos largos de experimentación y en una sesión el alumno tiene poco tiempo para dedicar al análisis de resultados experimentales, sin contar con el costo elevado del equipo necesario.

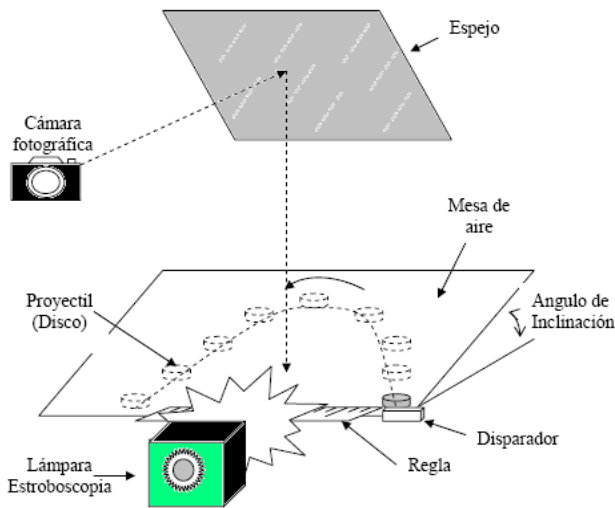


FIGURA 6. Diagrama de la mesa de aire inclinada donde se efectúa el tiro parabólico de un disco.

El experimento antes descrito, se puede sustituir por uno más sencillo de montar y de realizar. Tal experimento consiste en el lanzamiento de una esfera sólida, o balón, desde una rampa. El balón recorre una distancia d sobre la rampa antes de abandonarla (ver figura 7), éste cae desde una cierta altura “y” e impacta sobre una tabla horizontal a una distancia “x”.

Variando la altura desde donde se deja caer el balón y midiendo la distancia a la cual impacta sobre la superficie horizontal, se puede obtener una gráfica que describa la trayectoria del objeto. Pero las posiciones vertical y horizontal respecto del tiempo no se pueden determinar con este arreglo.

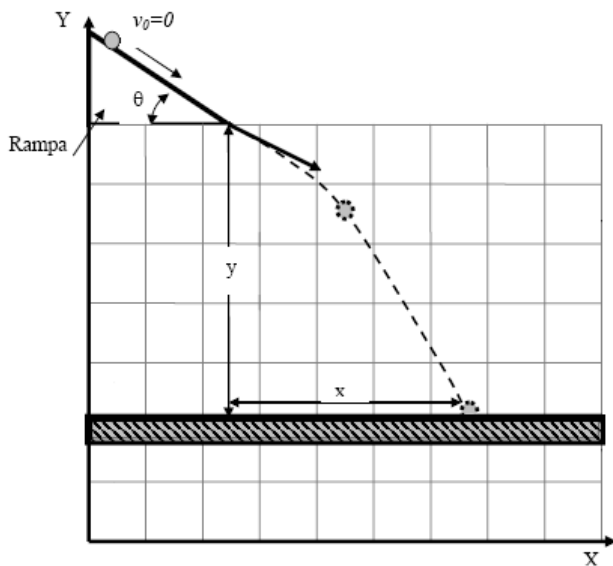


FIGURA 7. Diagrama Movimiento del descenso de un balón desde una rampa.

D. Captura de videos y software DivYX

Los experimentos fueron registrados usando una cámara digital 8 marca Sony® modelo DCR-TRV820 con una *Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol. 2, No. 3, Sept. 2008*

Implementación del software DIVYX en el laboratorio de Mecánica velocidad de 30 cuadros por segundo. Posteriormente, el video fue capturado en una PC a través del puerto IEEE 1394 (FireWire) y fue editado a formato MPEG empleando el paquete de video VEGAS 5.0®. Es de mencionar, que alternativamente se utilizó una cámara digital fotográfica Canon® A510 de 3.2 Mpixeles, cuyo costo es mucho menor y los videos son almacenados directamente en formato MPEG a una velocidad de 30 cuadros por segundo, los resultados obtenidos con ambas cámaras fueron en esencia los mismos. Finalmente, los datos de posición y tiempo fueron obtenidos a partir del video usando el software DivYX.

El software DivYX es una idea original de Héctor A. González Flores y fue diseñado en conjunto con un equipo de tres alumnos de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales de la Universidad de Monterrey. El principal objetivo del software es obtener las coordenadas espaciales y temporales que caracterizan el movimiento de un objeto en una o dos dimensiones a través de un video cuyo formato es MPEG. Este tipo de archivos de video pueden ser grabados primariamente mediante una cámara de video o una cámara fotográfica digital o un teléfono celular con cámara. La idea básica de este software es seguir el movimiento de un punto en un objeto con ayuda del ratón en una serie de cuadros sucesivos que componen al video, esto permite asignarle unidades de posición de pantalla. Estas unidades, llamadas “twips”, son convertidas por el software en unidades físicas a partir de una dimensión conocida en el video (por ejemplo la longitud de un objeto) y las coordenadas temporales se pueden obtener ya que se conoce el tiempo entre cuadros sucesivos. DivYX se convierte en una herramienta cognitiva suficiente, mediante la cual los usuarios tienen a su disposición lo necesario para realizar la tarea de analizar cinemáticamente la situación que ellos deseen. Interesados en obtener una copia del software DivYX, ver referencia 1.

IV ANALISIS Y RESULTADOS

A. Movimiento acelerado de un objeto sobre una superficie sin fricción

En la figura 8 se muestran los resultados del movimiento uniformemente acelerado obtenidos para el sistema de masas que se mueve sobre el riel de aire. Los círculos corresponden a los datos obtenidos empleando el chispeador y el papel impresor, los triángulos corresponden a la curva teórica y los cuadros muestran el comportamiento obtenido a partir de utilizar el video y el software DivYX. Es evidente que de este último conjunto de datos se tiene un comportamiento claramente parabólico como era de esperarse según la ecuación (1), mientras que no es así de claro con los datos obtenidos empleando el chispeador. Esto último confunde a los alumnos al momento de hacer el análisis de datos ya que la gráfica no corresponde a lo que se esperaría según la naturaleza del movimiento. Note que existe gran concordancia entre los datos obtenidos con DivYX y los

Leonor Pérez Trejo, Arturo F. Méndez, Héctor A. González
de la curva teórica. Lo que muestra la efectividad del software.

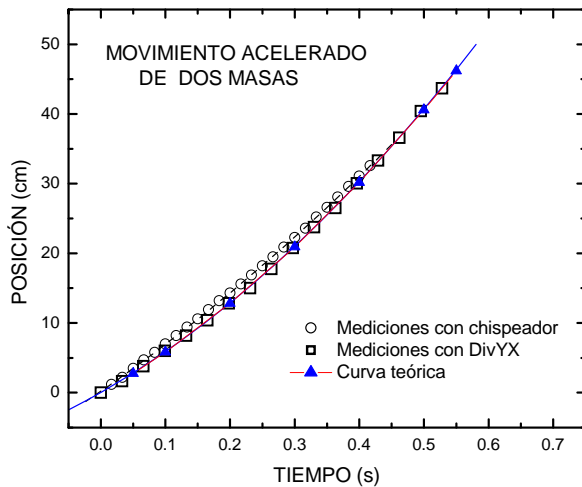


FIGURA 8. Gráficas de tiempo-posición para el arreglo de dos masas. Las líneas --- y — corresponden a los ajustes respectivos.

En la tabla I se muestran los valores de posición y velocidad inicial, así como la aceleración del sistema, obtenidos a partir del ajuste de cada conjunto de datos. Asimismo, se presenta el valor de la constante de aceleración de la gravedad calculado con la ecuación (7). Considerando que los experimentos se realizaron al nivel de la ciudad de México, el valor de la gravedad es igual a $g_{cd\ México}=978\text{ cm/s}^2$ [6] por lo que se tiene una diferencia porcentual del 43.1% y del 1.9% para el chispeador y el obtenido con DivYX respectivamente. Es evidente que existe una mayor aproximación empleando el video. Además, con el método del chispeador la obtención de los mismos resultados requiere de mayor tiempo debido principalmente al manejo y la medición de los datos experimentales.

TABLA I. Comparación de los parámetros de movimiento acelerado obtenidos por dos métodos diferentes.

Cantidad	Chispeador	DivYX
x_0 (cm)	0.197	0.039
v_0 (cm/s)	64.22	52.71
a (cm/s ²)	32.28	57.82
g (cm/s ²)	556.5	996.8

En la figura 9 se muestran los datos obtenidos con DivYX para el móvil deslizando sobre un plano inclinado. Se puede apreciar el comportamiento parabólico de la curva, lo cual es característico del movimiento uniformemente acelerado. Realizando el ajuste a los datos experimentales, se obtiene un valor de 46.48 cm/s^2 para la aceleración del objeto. Sustituyendo este valor en la ecuación (8) y sabiendo que el ángulo de inclinación es de 2.94° , se obtiene un valor de 906.22 cm/s^2 para la aceleración de la

gravedad en la Cd. De México, lo que nos da una diferencia del 7.3% respecto al valor reportado por Riveros [6].

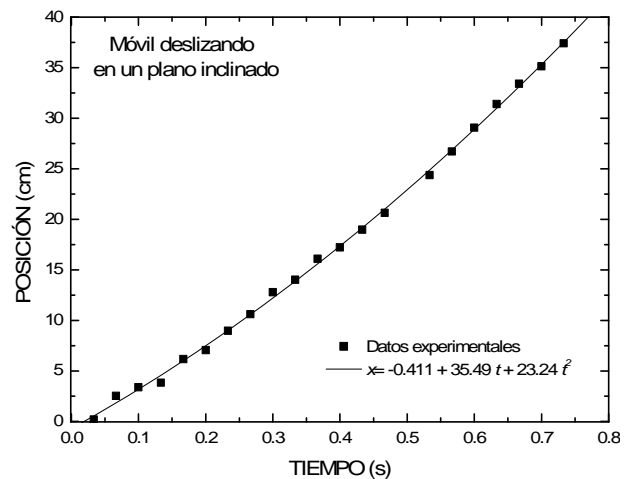


FIGURA 9. Gráfica de tiempo-posición para un disco moviéndose sobre un plano inclinado un ángulo de 2.94° . La línea continua representa el ajuste de datos.

B. Caída Libre

En la figura 10, se presentan los resultados obtenidos para el experimento de caída libre utilizando los dos sistemas experimentales. Como puede observarse, las graficas son evidentemente parabólicas, en concordancia con la ecuación (1) para ambos casos.

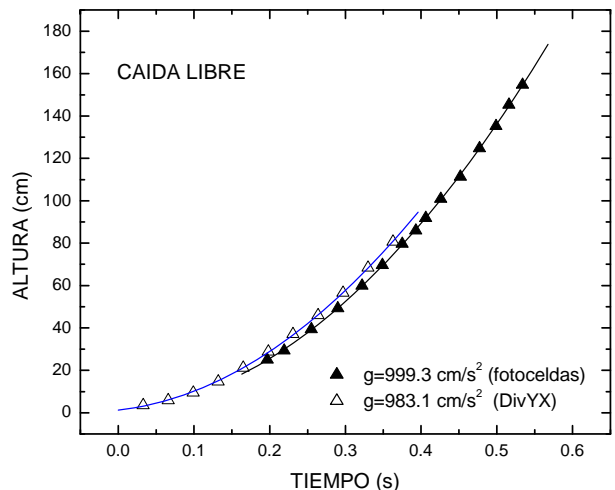


FIGURA 10. Gráfica tiempo-altura para el experimento de caída libre. Las líneas corresponden a los ajustes en cada caso.

Realizando el ajuste correspondiente y comparando con la ecuación (2) se evalúa el valor de la constante de gravedad. En este caso, empleando las fotoceldas se obtiene el valor de $g_{foto\ celdas}=999.35\text{ cm/s}^2$, por lo que existe una diferencia del 2.2% comparando con el valor reportado para la Cd. de México [6]. A partir del software DivYX se obtuvo una constante igual a $g_{DivYX}=983.1\text{ cm/s}^2$ y la diferencia se reduce al 0.4%.

Es de mencionar que en este experimento la obtención de datos con el software DivYX, está limitado a tiempos del orden de 0.5 segundos por la velocidad que alcanza el

objeto, ya que éste pierde definición en la fotografía, lo que dificulta obtener con precisión su posición vertical. Sin embargo, empleando el modo de aprendizaje de deportes, es posible obtener imágenes más claras debido a que el tiempo de obturación es menor. Si esto no fuera suficiente, entonces se puede emplear una cámara que obtenga un número mayor a 30 cuadros por segundo, aunque en este caso el costo podría incrementarse considerablemente.

C. Tiro parabólico

En la figura 11 se presentan dos conjuntos de datos para el experimento de tiro parabólico. El primero corresponde a mediciones directas de altura de la rampa y del desplazamiento horizontal del balón sobre el papel impresor. Observe que el comportamiento es parabólico y es consistente con la ecuación paramétrica (5). Al comparar esta ecuación con la ecuación de ajuste, se tiene que: $\tan\theta=0.9019$ lo cual implica que $\theta_{calc}=42.04^\circ$ mientras que el valor calculado de mediciones directas en el laboratorio es $\theta_{exp}=42.77^\circ$ lo que representa una diferencia porcentual del 1.73%. Es importante destacar que información adicional de este experimento por este método es imposible obtener.

Por otro lado, el segundo conjunto de datos en la figura 11 se obtuvo filmando el movimiento del balón para una altura fija de la rampa y empleando DivYX. En este caso el ángulo de disparo calculado a partir de las constantes de ajuste es $\theta_{DivYX}=42.9^\circ$, el cual presenta una diferencia porcentual del 0.33% respecto al valor experimental, lo que muestra nuevamente una mayor efectividad empleando DivYX.

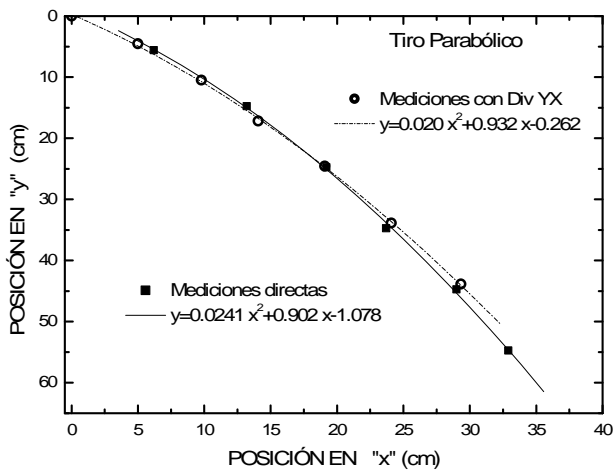


FIGURA 11. Trayectoria de un balón al abandonar una rampa. Las líneas representan los ajustes.

Las curvas correspondientes de desplazamiento horizontal y vertical contra el tiempo se presentan en las figuras 12 y 13 respectivamente. En la figura 12 se observa claramente el movimiento rectilíneo uniforme que experimenta el proyectil. Así, de una comparación entre la relación de ajuste y la ecuación (3) se determina la componente de la

velocidad en la dirección "x", esto es, $v_{ox} = v_o \cos\theta$, el cual tiene un valor de $v_{ox} = 141.61 \text{ cm/s}$.

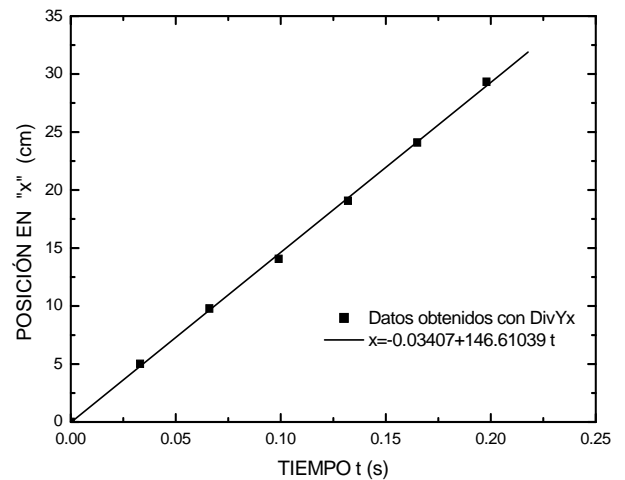


FIGURA 12. Curva de posición horizontal "x" contra tiempo, obsérvese el movimiento rectilíneo uniforme. La línea representa el ajuste.

Por otra parte, en la figura 13 se observa el movimiento vertical del proyectil en función del tiempo, el cual es característico de un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado. Comparando las constantes del ajuste realizado con las constantes en la ecuación (4) se obtiene que $g_{DivYX} = 995.96 \text{ cm/s}^2$, el cual difiere en 1.8% respecto al valor reportado para la ciudad de México [6]. Asimismo, la componente de la velocidad inicial en el eje "y" toma el valor de $v_{oy} = 122.61 \text{ cm/s}^2$

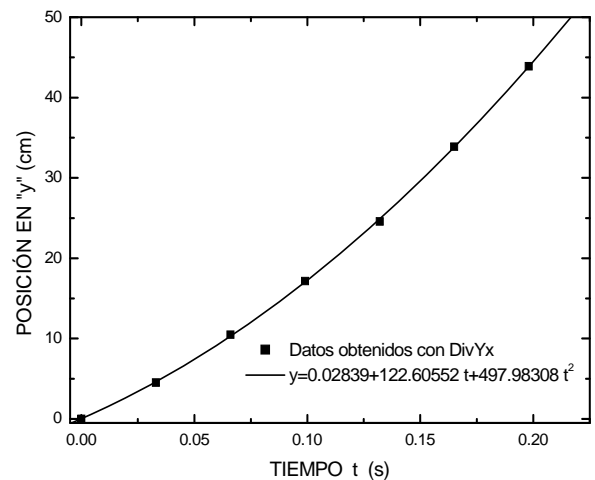


FIGURA 13. Curva de posición vertical "y" contra tiempo, obsérvese el movimiento rectilíneo uniformemente acelerado. La línea representa el ajuste.

Finalmente, a partir de las componentes de la velocidad inicial y empleando la ecuación (6) se calculó la magnitud de la velocidad inicial que corresponde a la velocidad (v_o) con la que el balón abandona la rampa, obteniendo un valor de 191.12 cm/s .

V. CONCLUSIONES

Se analizaron dos tipos de movimiento, el movimiento uniformemente acelerado y el tiro parabólico. El primero se estudió a partir de los siguientes experimentos: el movimiento de un deslizador que viaja sobre un riel de aire horizontal, el movimiento de un móvil sobre un plano inclinado sin fricción y la caída libre de un objeto. En el segundo se estudió el movimiento de un balón al abandonar un plano inclinado.

En los experimentos en una dimensión se mostró la utilidad y la eficacia del software DivYX, al obtener gráficos que muestran la relación de segundo orden entre el tiempo y la posición del objeto, lo que ayuda a que el alumno evite confundirse al momento de proponer funciones para el ajuste. Además, se pudo evaluar la constante de gravedad, obteniéndose diferencias porcentuales menores al 2%, en la mayoría de los casos, mientras que las diferencias son hasta del 40% realizando los experimentos de la manera tradicional.

En el experimento de tiro parabólico, el uso del software permitió obtener información amplia del movimiento, se redujo notablemente el tiempo de experimentación y el costo del equipo en comparación al costo cuando se usa una mesa de aire y demás aditamentos.

Se mostró que experimentos sencillos que no requieren de grandes accesorios ni de mucho tiempo en su realización junto con el software DivYX son una alternativa didáctica, que permite dedicar mayor tiempo al análisis e interpretación física de los resultados durante la clase ya sea en el laboratorio o incluso en el salón de clases.

Finalmente, ya que la obtención de videos puede ser de manera muy diversa, es posible encomendar a los alumnos a realizar videos de experimentos que sean propuestos por ellos, lo que permite motivar su creatividad y aumentar su participación.

AGRADECIMIENTOS

Los autores Méndez Sánchez y Pérez Trejo son becarios COFAA y EDD del IPN.

REFERENCIAS

- [1] González, H. A., *Manual de DivYX*, interesados en adquirir una copia solicitarla vía electrónica a la siguiente dirección, hgonzalez@udem.edu.mx.
- [2] Sears, F., Zemansky, M., Young, H. y Freedman, R., *Física Universitaria Vol. 1*, (Pearson Educación, 11^a Edición, México, 2004).
- [3] Resnick, R., Halliday, D. y Krane K. S., *Física, Vol. 1*, (CECSA, 5^a edición, México, 2004).
- [4] Serway, R. A., *Física, Vol 1*, (Mc Graw Hill INTERAMERICANA EDITORES, 4^a edición, México, 1997).
- [5] Rudolf, A. H., Rueda, L. G. y Ortega, G., *Manual de prácticas del laboratorio de física I: Mecánica*, (ESFM-IPN, México, 2002).
- [6] Riveros, H. G., *Los placeres del pensamiento*, Boletín de la Sociedad Mexicana de Física **20**, 47-49 (2006).